

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra elektroenergetiky

# Aplikace infračervené termografie Application of Infrared Thermography

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra elektroenergetiky

## Zadání bakalářské práce

Student:

**Jan Aujezdský**

Studijní program:

B2649 Elektrotechnika

Studijní obor:

3907R001 Elektroenergetika

Téma:

Aplikace infračervené termografie  
Application of infrared thermography

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

1. Teoretický úvod
2. Legislativa v oblasti infračervené termografie
2. Popis techniky pro infračervenou termografii
3. Realizace a vyhodnocení měření vybraných elektrozařízení
4. Závěr a zhodnocení

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] ČSN ISO 18434-1 Monitorování stavu a diagnostika strojů -Termografie - Část 1: Všeobecné postupy  
[2] KAPLAN, H. ASNT Level III Study Guide Infrared/Thermal Method, American Society for Nondestructive Testing, Inc. ISBN 1-57117-015-4  
[3] WALKER, N. Infrared Thermography- Theory & Practice, BINDT, ISBN 0903132338  
[4] MALDAGUE, X.P.V., MOORE, P.O. (Editors). Nondestructive Testing Handbook, third edition, Volume 3, Infrared and Thermal Testing. American Society for Nondestructive Testing, Inc., ISBN 1-57117-044-8

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Lukáš Prokop, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2016

Datum odevzdání: 30.04.2018

prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.  
vedoucí katedry



prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.  
děkan fakulty

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě 29.4.2018

.....Anjezdsky!.....

Souhlasím se zveřejněním této bakalářské práce dle požadavků čl. 26, odst. 9 Studijního a zkušebního řádu pro studium v bakalářských programech VŠB-TU Ostrava.

V Ostravě 29.4.2018

...*Ing. Zdeněk*.....

## **Abstrakt**

Cílem mé Bakalářské práce je seznámení se s množností využití infračervené termografie v elektrotechnice. Infračervená termografie je věda, která se zabývá využitím elektrooptických systémů k detekci a měření tepelné radiace a převedení jejich hodnot na teplotu povrchu. V této práci postupně rozeberu jednotlivé druhy vedení tepla, základní tepelné zákony, složení a konstrukci infrakamery, měření a vyhodnocování chyb.

Klíčová slova: infračervená termografie, tepelná radiace, vedení tepla, infrakamera.

## **Abstract**

The goal of this work is an introduction to application of an infrared thermography at the electrical engineering. Infrared thermography is a science, that studies an electro-optical systems for detection and measurement of thermal radiation and transfer of their values to the surface. This work also studies the types of heat conduction, the heat, the composition and structure of the infrared camera, measurement and a mistake evaluation .

Key Words: infrared thermography, thermal radiation, heat conduction, infracamera

Rád bych na tomto místě poděkoval doc. Ing. Lukáši Prokopovi, Ph.D., za jeho pomoc při tvorbě, firmě Continental Automotive Czech Republic, s.r.o., za zpřístupnění zařízení a dokumentace měřených zařízení, a také všem autorům mých literárních zdrojů.

## Obsah

|  |    |
|--|----|
| Seznam obrázků: .....                                  | 9  |
| 1 Úvod .....   | 10 |
| 2 Infračervená termografie a termální zobrazovače..... | 11 |
| 2.1 Infračervená termografie .....                     | 11 |
| 2.1.1 Bezkontaktní termografie .....                   | 11 |
| 2.1.2 Kontaktní termografie .....                      | 12 |
| 2.2 Způsoby přenosu tepla.....                         | 12 |
| 2.2.1 Vedení (kondukcí) tepla .....                    | 12 |
| 2.2.2 Proudění tepla.....                              | 13 |
| 2.2.3 Sálání tepla .....                               | 13 |
| 3 Tepelné záření .....                                 | 15 |
| 3.1 Černé těleso, černý zářič: .....                   | 15 |
| 3.1.1 Planckův vyzařovací zákon .....                  | 16 |
| 3.1.2 Wienův posunovací zákon.....                     | 17 |
| 3.1.3 Stefan-Boltzmannův zákon.....                    | 17 |
| 4 Emisivita .....                                      | 18 |
| 4.1 Spektrální emisivita .....                         | 18 |
| 4.2 Směrová (směrová spektrální) emisivita .....       | 19 |
| 4.3 Měření emisivity.....                              | 19 |
| 4.4 Měření zdánlivé odražené teploty .....             | 20 |
| 4.5 Chyby měření .....                                 | 20 |
| 5 Normy.....   | 21 |
| 5.1 Norma ČSN EN 13187.....                            | 21 |
| 5.2 Norma ČSN EN 18434-1 .....                         | 21 |
| 6 Konstrukce infrakamery .....                         | 22 |
| 6.1 Optika .....                                       | 23 |
| 6.2 Detektor .....                                     | 23 |
| 6.2.1 Tepelný detektor .....                           | 23 |
| 6.2.2 Fotonový (Kvantový) detektor .....               | 24 |
| 6.3 Elektronika pro zpracování obrazu.....             | 26 |
| 7 Software pro zpracování termogramů .....             | 27 |

|     |                                     |    |
|-----|-------------------------------------|----|
| 7.1 | Po spuštění .....                   | 27 |
| 7.2 | Práce s termogramy .....            | 27 |
| 7.3 | Tvorba jednoduchých protokolů ..... | 28 |
| 8   | Ovládání Termokamery Flir E45 ..... | 29 |
| 8.1 | Rozložení obrazovky .....           | 30 |
| 8.2 | Hlavní menu .....                   | 30 |
| 9   | Obsah zprávy z měření .....         | 32 |
| 9.1 | Tvorba závěrečné zprávy .....       | 32 |
| 10  | Závěr .....                         | 39 |
|     | Literatura .....                    | 40 |
|     | Přílohy .....                       | 41 |



## Seznam obrázků:

|   |    |
|---|----|
| Obrázek 1 Termální obraz zbytkového tepla přeneseného dlaní na zeď.....   | 11 |
| Obrázek 2 Způsob přenosu tepla .....  | 14 |
| Obrázek 3 Dutinový černý zářič ( a - kulatý, b – válcový, c – kuželový, d – inverzní kuželový, e –<br>technická realizace černého zářiče pro rozsah teploty černého tělesa od 200°C do 1200°C)..... | 16 |
| Obrázek 4 Orientační hodnota spektrální emisivity pro různé materiály (šedou barvou je zobrazené<br>krátkovlnné a dlouhovlnné pásmo).....   | 18 |
| Obrázek 5 Závislost emisivity materiálu, ideálního difúzního materiálu a černého tělesa na úhlu od<br>normály měřené plochy .....   | 19 |
| Obrázek 6 Konstrukce termokamery .....  | 22 |
| Obrázek 7 Blokové schéma Infrakamery.....   | 22 |
| Obrázek 8 Mikrobolometrické pole .....  | 23 |
| Obrázek 9 Mikrobolometrický element matice .....  | 24 |
| Obrázek 10 Kvantový detektor (a – fotorezistor, b – fotodiodový detektor) .....   | 25 |
| Obrázek 11 Hlavní pracovní plocha programu Flir .....   | 27 |
| Obrázek 12 Režim editace .....  | 28 |
| Obrázek 13 Tvorba jednoduchého protokolu .....  | 28 |
| Obrázek 14 Ovládací prvky termokamery.....  | 29 |
| Obrázek 15 Rozložení obrazovky .....  | 30 |
| Obrázek 16 Hlavní menu .....  | 30 |
| Obrázek 17 Naformátování dokumentu .....  | 32 |
| Obrázek 18 Naformátovaný dokument zprávy.....   | 33 |
| Obrázek 19 Tvorba titulní strany.....   | 33 |
| Obrázek 20 Přidání další stránky zprávy .....   | 34 |
| Obrázek 21 Vytvoření obsahu .....   | 34 |
| Obrázek 22 Úvodní část .....  | 35 |
| Obrázek 23 Popis měření .....   | 35 |
| Obrázek 24 Vyhodnocení .....  | 36 |
| Obrázek 25 Vyhodnocování termografů .....   | 36 |
| Obrázek 26 Nabídka pro úpravu termogramů.....   | 37 |
| Obrázek 27 Závěr.....   | 37 |

# 1 Úvod

Infračervená termografie se v dnešní době používá k preventivní údržbě a stavu výrobních zařízení. Pomocí termovize můžeme získat viditelnou informaci o rozložení teploty na povrchu snímaného zařízení. Velkou výhodou termovize je, že měření lze provést během provozu zařízení, bez poškození objektu nebo odstávky zařízení. V elektrotechnice se kontrola tepelným obrazem používá ke kontrole transformoven, rozvoden a rozvaděčů, venkovního vedení a k prověřování, zda nedochází k přehřívání části pod napětím. Cílem mé Bakalářské práce je seznámení se s využitím infračervené termografie v elektrotechnice. Popsat metody a způsoby měření, konstrukci infrakamer a chyby při měření. Dále popis diagnostiky zařízení pomocí tepelného obrazu, a to od měření elektrických zařízení, až po sepsání závěrečné zprávy.

## 2 Infračervená termografie a termální zobrazovače

Termální zobrazovač pracuje na principu infračervené termografie. Díky tomu se stal zobrazovač levným a účinným pomocníkem při hledání vad, k údržbě a inspekci elektronických systémů, mechanických systémů a plášťů budov.

### 2.1 Infračervená termografie

Infračervená termografie je věda zabývající se využitím elektrooptických systémů k detekci a měření tepelné radiace a převedení jejich hodnot na teplotu povrchu. Radiaci můžeme rozumět jako pohyb tepla, který nastává při sálání energie (elektromagnetických vln) do prostoru, a to bez žádného přímého média. Dnešní infračervená termografie nám umožní využití elektrooptických zařízení k detekci a měření radiace na budovách a měřených zařízeních a objektech.

My lidé jsme schopni detekovat infračervenou radiaci velmi omezeně. I přes velkou nervovou citlivost na těle dokážeme rozpoznat teplotní rozdíl  $\pm 0,009\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $0,005\text{ }^{\circ}\text{F}$ ). Proto byla zkonstruována mechanická a elektronická zařízení, která nám díky své větší citlivosti na teplo pomáhají k detekci tepelné radiace.



Obrázek 1 Termální obraz zbytkového tepla přeneseného dlaní na zeď

#### 2.1.1 Bezkontaktní termografie

Bezkontaktní termografie je založena na skutečnosti, že každé těleso teplejší než je hodnota  $0\text{ K}$  (hodnota absolutní nuly); vyzařuje do okolí elektromagnetické vlny. Vlastnost tohoto záření souvisí

s teplotou povrchu, kde každé teplotě tělesa nad  $0\text{ K}$  přiřadíme určité frekvenční spektrum, získáme výpočtem vlnovou délku maxima spektrální křivky.

Díky neinvazivní a reálně přesné bezkontaktní metodě lze pomocí infrakamer nebo radiometrů lokalizovat ložisko se zvýšenou teplotou. Nevýhoda této metody je její závislost na zářivosti povrchu sledovaného objektu.

Bezkontaktní měřiče teploty fungují na principu fotoemise dopadajícího elektromagnetického záření na snímáný prvek, který toto záření přemění ve zvoleném frekvenčním spektru na elektrický signál. Tento signál je dále zpracován a výstupovou informací je zobrazení normálního tvaru tělesa s přiřazenými barvami na displeji. Barvy odpovídají určitým teplotám podle barevné škály.

### 2.1.2 Kontaktní termografie

Tato metoda využívá optických vlastností kapalných tekutých krystalů. Tyto krystaly jsou kapalné, ale přitom vykazují optické a elektromagnetické vlastnosti pevných látek. V termografii se užívá tzv. cholesterické fáze kapalného krystalu, kdy jsou molekuly tyčinkovitého tvaru krystalu uspořádány do vrstev, kde každá vrstva má jinou orientaci podélné osy těchto tyčinek. Sousední vrstvy tyčinek jsou vzájemně pootočený tak, aby myšlené vektory popisující převažující směr podélné osy tyčinek v jednotlivých vrstvách tvořily šroubovici. Osa šroubovice je kolmá na tyto vrstvy.

Při dopadu bílého světla šroubovice odráží nejvíce tu danou vlnovou délku, která odpovídá stoupání této šroubovice. Velikost této vlnové délky je závislá na teplotě. Díky tomu je barva měřené vrstvy indikátorem teploty.

Měřicí rozmezí tekutých krystalů je  $10\text{--}120\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Barvy jsou zde opačné než u bezkontaktní termografie, tj. červená pro studenou a modrá pro teplou.

## 2.2 Způsoby přenosu tepla

### 2.2.1 Vedení (kondukci) tepla

Přenos tepla vedením spočívá v přenosu tepla ve směru klesající teploty; tedy v dějích způsobených interakcí mezi bezprostředně sousedícími částicemi v daném tělese. V kapalinách a plynech se k tomuto sdílení tepla připojuje také sdílení tepla prouděním a u látek, které částečně propouštějí záření (např. sklo), také sdílení tepla sáláním.

Částice s vyšší kinetickou energií předávají část své kinetické energie částicím s nižší energií, díky toho dochází k přenosu tepla. Rychlost přenosu tepla se vyjadřuje veličinou zvanou tepelný tok nebo tepelný výkon. Lze jej definovat vzorcem:

$$\Phi = \frac{d \cdot Q}{d \cdot t} [W] \quad (1)$$

Kde  $Q$  značí množství přenášeného tepla a  $t$  daný příslušný čas. Plošnou hustotu tepelného toku  $q$  lze definovat:

$$q = \frac{d \cdot Q}{d \cdot S_n} [W \cdot m^{-2}] \quad (2)$$

Hnací silou vedení tepla je teplotní spád gradientem teploty, který je vyjádřen Fourierovým zákonem:

$$\vec{q} = -\lambda \cdot \text{grad} \cdot T [K/m] \quad (3)$$

Kde  $\lambda$  značí tzv. součinitel tepelné vodivosti, který vyjadřuje vlastnost látky vést teplo a má číselnou hodnotu jako hustota tepelného toku při gradientu teploty v dané látce.

Přenos tepla vedením se v pevných látkách uskutečňuje přenosem kinetické energie jednotlivých částic, který je způsoben buď volnými elektrony, nebo přenosem kmitů v krystalické mřížce látek. Přitom energie, kterou si částice předávají, se nepřenáší plynule, ale jen po kvantech energie  $hf$

podobným těm, které přenáší elektromagnetické vedení fotonu. Na přenosu tepla se tedy podílejí jak volné elektrony, tak i fonony a výsledný součinitel vodivosti je:

$$\lambda = \lambda_f + \lambda_e \quad (4)$$

Dobré vodiče elektřiny obsahují dostatek volných elektronů, tím pádem  $\lambda \approx \lambda_e$ , u elektrických izolantů naopak převládá vodivost fotonová  $\lambda \approx \lambda_f$ .

### 2.2.2 Proudění tepla

Ke sdílení (přenosu) tepla prouděním dochází například při styku kapaliny nebo plynu s pevnou stěnou. Přitom dochází k ochlazování nebo oteplování tenké vrstvy tekutiny na stěně. Vzniklý rozdíl teplot vrstev způsobuje přirozené proudění. Rovnice pro proudění toku je daná vztahem:

$$\Phi = \alpha \cdot S \cdot \Delta T \quad (5)$$

kde  $\alpha$  ( $Wm^{-2} \cdot K^{-1}$ ) je součinitel přestupu tepla,  $S$  ( $m^2$ ) teplosměnná plocha,  $\Delta t$  ( $K$ ) je rozdíl teplot (teplotní spád).

### 2.2.3 Sálání tepla

Sálání je přirozená vlastnost těles a můžeme říci, že při něm každé těleso vysílá záření. Dopadne-li toto záření na jiné těleso, je částečně pohlceno, část se odráží a část prochází tělesem. Pohlcené záření způsobuje zvýšení vnitřní energie tělesa, odražené záření dopadá na jiná tělesa a procházející záření přechází na jiná tělesa.

Schopnost tělesa pohlcovat a odrazovat záření závisí na typu a barvě povrchu tělesa. U přenosu tepla sáláním není potřeba hmotného prostředí, protože se jedná o elektromagnetické vlnění.

Přenos tepla je dán rovnicí:

$$P_r = \sigma \cdot \varepsilon \cdot S \cdot T^4 \quad (6)$$

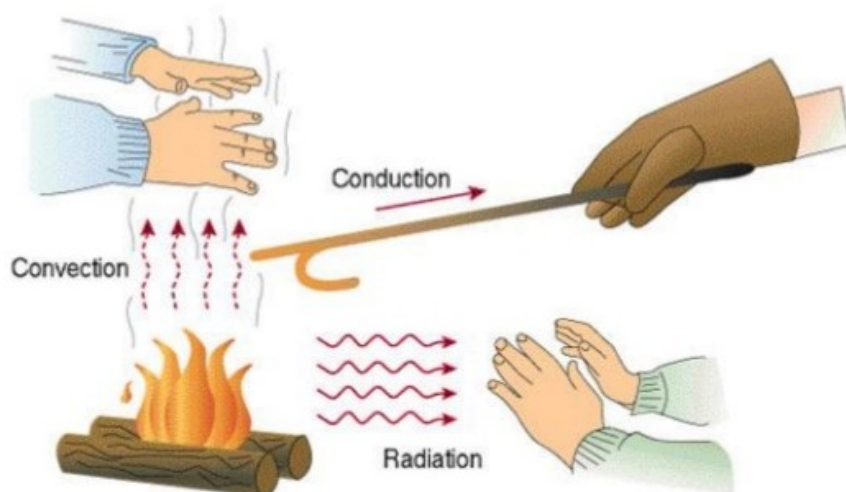
kde  $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}$  je tzv. Stefanova-Boltzmannova konstanta,  $\varepsilon$  označuje emisivitu předmětu. Hodnota  $\varepsilon$  závisí na materiálu tělesa a platí  $0 \leq \varepsilon \leq 1$ . Je-li  $\varepsilon = 1$ , hovoříme o černém tělese (teoretický model), nebo dokonalém zářiči.

Další vlastností tělesa kromě vyzařování teploty je také schopnost pohlcovat teplotu jiného tělesa  $T_0$ . Vztah pro pohlcení energie:

$$P_a = \sigma \cdot \varepsilon \cdot S \cdot T_0^4 \quad (7)$$

V reálné situaci se vyskytují obě dvě tyto situace. Což znamená, že těleso o teplotě  $T$  zároveň vyzařuje energii do okolí, ale také současně energii přijímá z okolních předmětů o teplotě  $T_0$ . Celkový výkon  $P$  je poté dán vztahem:

$$P = P_r - P_a = \sigma \cdot \varepsilon \cdot S \cdot (T^4 - T_0^4) \quad (8)$$



Obrázek 2 Způsob přenosu tepla

### 3 Tepelné záření

Všechny předměty s teplotou větší než je absolutní nula, tj. všechny tělesa ve známém vesmíru, vyzařují energii ve formě elektromagnetického záření. Toto záření nazýváme tepelným zářením, abychom jej odlišili od elektromagnetického záření, které je generováno z jiných příčin.

Protože intenzita elektromagnetického záření je závislá na povrchové teplotě objektu, který toto záření vytváří, lze změřením intenzity záření stanovit povrchovou teplotu daného objektu. Zdrojem toho elektromagnetického záření je termický pohyb částic, z nichž je objekt složen. Toto záření nazýváme „tepelným zářením“, abychom jej odlišili od ostatních elektromagnetických záření, která vznikají z jiných příčin.

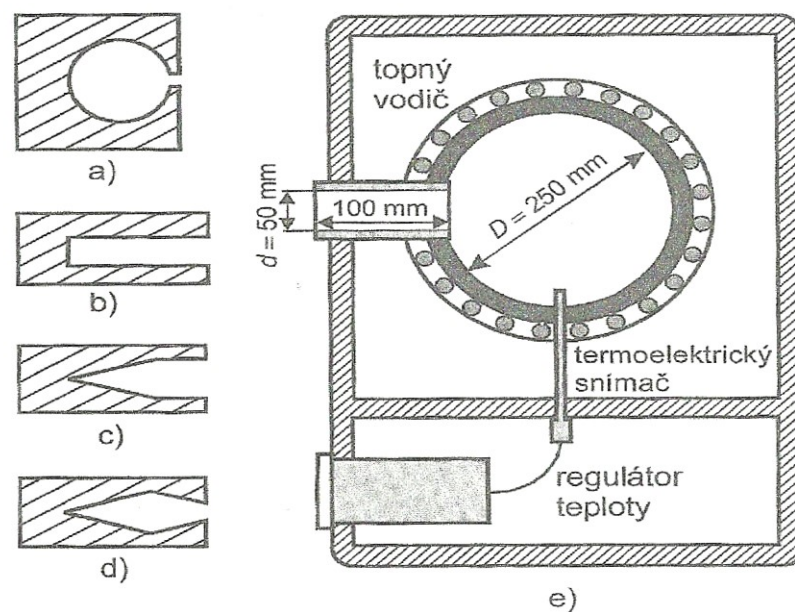
#### *Vlastnosti tepelného záření:*

- má spojité spektrum
- rozdělení energie podle vlnových délek závisí na teplotě tělesa - barva tělesa se mění s teplotou
  - $t < 525\text{ }^{\circ}\text{C}$  - infračervené záření (nevidíme)
  - $t = 700\text{ }^{\circ}\text{C}$  - tmavočervená barva
  - $t = 900\text{ }^{\circ}\text{C}$  - červená barva
  - $t = 1100\text{ }^{\circ}\text{C}$  - oranžově červená barva
  - $t = 1300\text{ }^{\circ}\text{C}$  - bílá barva
  - $t = 3000\text{ }^{\circ}\text{C}$  - modrobílá barva
- rozdělení energie závisí i na chemickém složení a struktuře tělesa. [3]

#### 3.1 Černé těleso, černý zářič:

Černé těleso je těleso, které dokonale pohlcuje dopadající záření, a to při každém úhlu dopadu při libovolné spektrální záři, které naopak při každé vlnové délce vyzařuje maximální energii nezávislé na použitém materiálu. Zář černého tělesa je ve všech směrech v poloprostoru nad zářičem konstantní. Emisivita černého tělesa  $\varepsilon = 1$ .

Pro kalibraci pyrometrů se používá tzv. černý zářič, jehož emisivita je  $\varepsilon \approx 1$ . Černý zářič má hodnotu emisivity v rozmezí  $1 > \varepsilon > 0,99$ . Obvykle realizovaný tzv. dutinovým zářičem s reflexním difuzním nebo difuzně reflexním povrchem. Černý zářič je zdrojem záření pro kalibraci všech typů pyrometrů.



Obrázek 3 Dutinový černý zářič ( a - kulatý, b – válcový, c – kuželový, d – inverzní kuželový, e – technická realizace černého zářiče pro rozsah teploty černého tělesa od 200°C do 1200°C)

### 3.1.1 Planckův vyzařovací zákon

Zdroje elektromagnetického záření vyzařují svou energii po kvantech. Na základě kvantové teorie a v souladu se zákony pravděpodobnosti odvodil Planck svůj vyzařovací zákon, který vysvětluje:

*Že záření o frekvenci  $f$  může být vyzařováno, nebo pohlcováno jen po kvantech energie o velikosti  $e=h \cdot f$ .*

V tomto zákoně představuje  $h$  Planckovou konstantu, která má hodnotu

$$h = (6,6256 \pm 0,0005) \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}.$$

Z uvedené formulace Planckova vyzařovacího zákona je možné pro dokonalé černé těleso (dokonalý zářič) ve vakuu odvodit vztah pro spektrální hustotu zářivého toku dokonalé černého tělesa  $E_{0\lambda}$  jako funkci vlnové délky záření  $\lambda$  a teploty  $T$ .

$$E_{0\lambda} = \frac{d \cdot E_0}{d \cdot \lambda} = f(\lambda, T) = c^2 \cdot h \frac{2 \cdot \pi \cdot \lambda^{-5}}{e^{ch/k\lambda T} - 1} = \frac{c_1 \cdot \lambda^{-5}}{e^{c_2/\lambda T} - 1} \quad (9)$$

Kde  $E_0$  je hustota zářivého toku dokonalé černého tělesa,

$k$  je Boltzmannova konstanta, která má hodnotu  $k = (1,38054 \pm 0,00018) \cdot 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$ ,

$c$  je rychlost světla ( $c = 299792458 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ),

$c_1$  je první vyzařovací konstanta,  $c_1 = 2 \cdot \pi \cdot h \cdot c^2 = (3,7417749 \pm 0,0000022) \cdot 10^{-16} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ ,

$c_2$  druhá vyzařovací konstanta,  $c_2 = \frac{h \cdot c}{k} = (1,438769 \pm 0,000012) \cdot 10^{-2} \text{ m} \cdot \text{K}$ ,

$\lambda$  vlnová délka záření (m),

$T$  je termodynamická teplota černého tělesa (K).



### 3.1.2 Wienův posunovací zákon

Wienův posunovací zákon zní:

*S rostoucí teplotou zářiče se posouvá maximální hodnota spektrální hustoty zářivého toku ke kratším vlnovým délkám.*

Pro rozsah teplot  $T < 3000 \text{ }^{\circ}\text{C}$

$$\lambda_{\max} \cdot T < 0,1 \cdot c_2 \quad (10)$$

Kde  $\lambda_{\max}$  je vlnová délka, při níž je spektrální hodnoty zářivého toku při dané maximální teplotě zářiče. Wienův posuvný zákon lze získat i z Planckova posuvného zákona, a to derivací spektrální hustoty živého toku dokonale černého tělesa  $E_{0\lambda}$  dle vlnové délky  $\lambda$ , přičemž derivaci položíme nule. [4]

### 3.1.3 Stefan-Boltzmannův zákon

Stefan-Boltzmannův zákon nám udává intenzitu vyzařování pro danou teplotu v celém rozsahu vlnových délek.

$$E_0 = \int_0^{\infty} E_{0\lambda} \cdot d\lambda = \sigma T^4 \quad (11)$$

Kde  $\sigma = (5,67051 \pm 0,000019) \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$  je Stefan-Boltzmannová konstanta.

## 4 Emisivita

Emisivita udává množství tepelného záření, které je z povrchu vyzářeno. Toto množství závisí na jeho teplotě i na emisivitě. Emisivita je vlastně efektivita vyzařování. Čím bude emisivita větší a blíže 1, tím více tepelného záření povrch při dané teplotě vyzáří. Pokud bude emisivita rovna 1, vyzáří povrch maximální množství tepelného záření, které je z fyzikálního hlediska možné vyzářit při dané povrchové teplotě černého tělesa. Tuto hodnotu emisivity má bohužel jen „ideální“ černé těleso, které nejsme schopni sestavit a dosáhnout této teploty.

Pro emisivitu platí:

$$\varepsilon = \frac{E}{E_0} = \frac{\int_0^\infty \varepsilon(\lambda, T) \cdot E_{0\lambda} \cdot d\lambda}{\int_0^\infty E_{0\lambda} \cdot d\lambda} \quad (12)$$

Kde

$E_0$  je intenzita vyzařování černého tělesa,

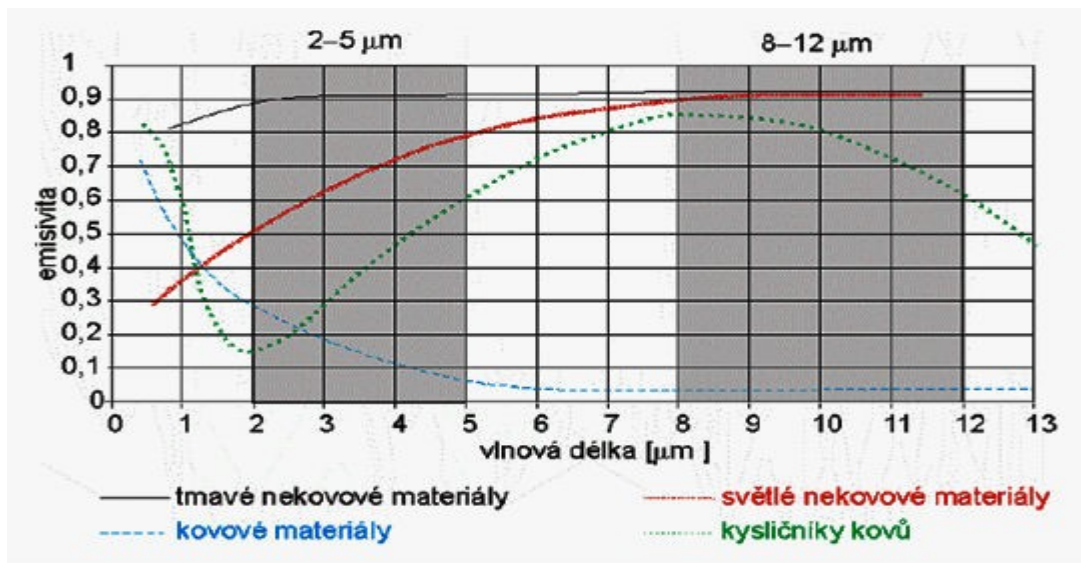
$E_{0\lambda}$  spektrální hustota intenzity vyzařování černého tělesa,

$\varepsilon(\lambda, T)$  emisivita (je funkcí vlnové délky a teploty).

### 4.1 Spektrální emisivita

$\varepsilon_\lambda$  je poměr spektrální hustoty intenzity vyzařování tepelného zářiče ke spektrální hustotě vyzařování černého tělesa při téže teplotě. Je definována vztahem:

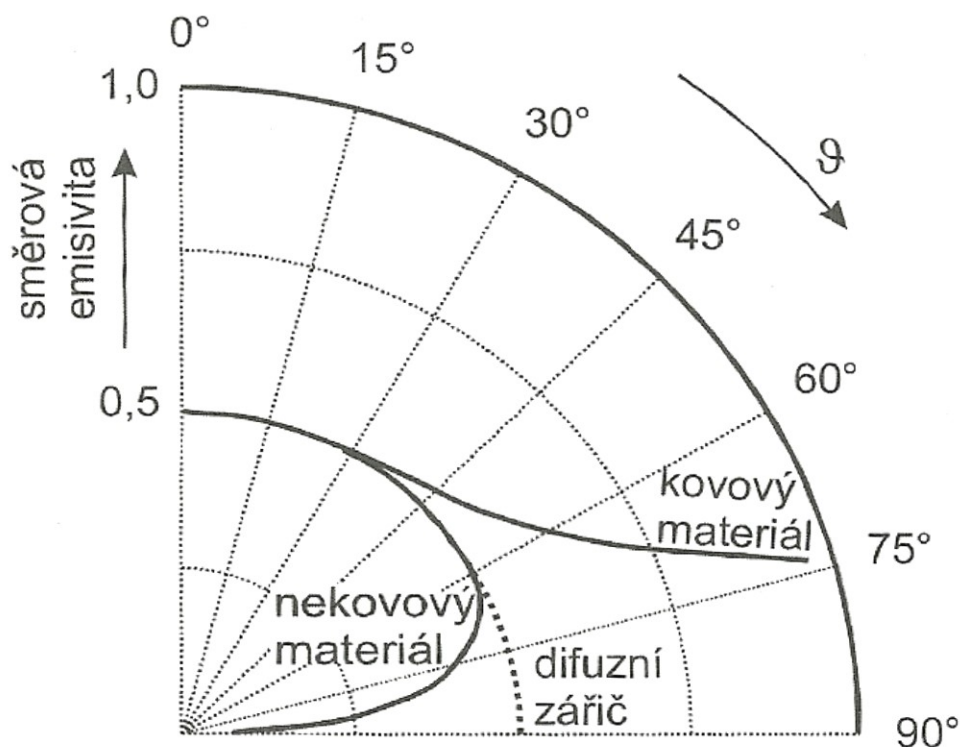
$$\varepsilon_\lambda = \frac{E_\lambda}{E_{0\lambda}} \quad (13)$$



Obrázek 4 Orientační hodnota spektrální emisivity pro různé materiály (šedou barvou je zobrazené krátkovlnné a dlouhovlnné pásmo)

## 4.2 Směrová (směrová spektrální) emisivita

Kde  $\varepsilon$  je poměr hustoty (spektrální hustoty) záře tepelného zářiče ve směrech  $\varphi$  (směrový úhel) a  $\vartheta$  (stranový úhel) k hustotě (spektrální hustotě) záře černého tělesa při téže teplotě.



Obrázek 5 Závislost emisivity materiálu, ideálního difúzního materiálu a černého tělesa na úhlu od normály měřené plochy

## 4.3 Měření emisivity

Pro měření emisivity jednotlivých objektů se doporučuje mít u sebe výbavu o sestavě:

- kalibrovanou IČT kameru, která umožňuje vkládat hodnoty jak emisivity, tak zdánlivé odražené teploty;
- zdroj tepla nebo chladu, který pomáhá upravit teplotu objektu tak, aby byl větší nebo menší o 20 °C;
- kalibrovaný kontaktní teploměr;
- vzorek, který je natřený nebo polepený páskou, který má ve vlnovém rozsahu známou vysokou emisivitu.

Metody stanovení emisivity:

- **Pomocí tabulek** - daná emisivita se při měření nastavuje na kameře pomocí tabulek, ve kterých se emisivita materiálu vyhledá pro danou vlnovou délku.
- **Kontaktní metoda** – měřený objekt se nejprve změří kontaktním teploměrem, a posléze na IČT kameře se nastavují jednotlivé emisivity do té doby, než má teplota na kameře stejnou hodnotu, jaká byla naměřena kontaktním teploměrem.

- **Metoda využívající materiál s referenční emisivitou** – na měřený objekt se nanese nátěr nebo se polepí páskou s referenční emisivitou a posléze je pomocí IČT kamery stanovena její teplota. Poté na IČT kameře nastavuje emisivita, dokud není hodnota teploty objektu shodná s teplotou nátěru nebo pásky.
- **Metoda s použitím černého tělesa** – tato metoda spočívá v porovnávání hodnot vyzařování námi měřeného objektu s hodnotami vyzařování černého tělesa.

#### 4.4 Měření zdánlivé odražené teploty

Při měření zdánlivé odražené teploty jednotlivých objektů se doporučuje mít ve výbavě:

- kalibrovanou IČT kameru, která umožňuje vkládání hodnoty jak emisivity, tak zdánlivé odražené teploty;
- odražeč (infračervený reflektor), může se jednat třeba o „zmačkanou“ a opět narovnanou hliníkovou fólii, která se připevní na desku lesklou stranou nahoru.

Při měření zdánlivé odražené teploty se nejčastěji užívá nepřímá metoda, která spočívá v tom, že před měřený objekt kolmo umístíme námi zvolený odražeč, na kterém se bude pomocí IČT kamery pozorovat tepelný odraz záření. Nesmí se zapomenout, že emisivita na kameře musí být nastavena na hodnotě  $\varepsilon = 1$  a vzdálenost by měla být  $l = 0$ . Teplota, která je tímto naměřena na odražeči, je hledaná hodnota.

#### 4.5 Chyby měření

Při termografickém měření je třeba si dát pozor na čtyři základní typy chyb vznikající při měření, a které vycházejí z rovnice termografie. Jsou to:

- **Emisivita** – nejčastější a nejproblematictější zdroj nejistoty, způsobující chyby o velikosti desítek a více procent.
- **Odražená zdánlivá teplota** – další problematická chyba, nevyskytující se u materiálu s velkou emisivitou, hlavní využití je ve stavebnictví.
- **Vliv atmosféry** – je třeba si dát pozor na vlhkost zdí a materiálu, vzdálenost a teplotu jednotlivých materiálů, při měření je lze zanedbat.
- **Vlastní chyba termokamery** – je to chyba stanovená výrobcem, v dnešní době jde o tyto dvě chyby:

$\pm 2^{\circ}\text{C}$  nebo  $\pm 2\%$  z měřeného údaje

$\pm 1^{\circ}\text{C}$  nebo  $\pm 1\%$  z měřeného údaje.

## 5 Normy

Při měření IČT kamerou je třeba dbát předepsaných norem, z nichž dvě základná jsou:

### 5.1 Norma ČSN EN 13187

Tato norma je českou verzí evropské normy EN 13187. Tato norma stanovuje kvalitativní metodu pro určení tepelných nepravidelností v pláštích budov pomocí termografické zkoušky. Metoda se používá především k určení širší odchylek v tepelných vlastnostech, včetně vzduchotěsnosti, jednotlivých prvků obvodového pláště budovy. V této normě jsou stanoveny dva způsoby termografie:

*Zkouška s IČT kamerou*, která je určena zejména ke kontrole celkového chování nových budov nebo výsledku po rekonstrukci.

*Zjednodušená zkouška s IČT kamerou*, která je vhodná při provádění auditů, např. na místě rekonstrukce nebo při výrobní kontrole nebo jiné běžné kontrole.

Tyto dva způsoby se liší protokolem a popisem výsledků.

Výsledky získané pomocí obou metod musí být interpretovány a vyhodnoceny i posuzovány osobou, vyškolenou speciálně pro tyto účely.

Tato norma se používá ke stanovení polohy tepelných nepravidelností a polohy cesty průniku vzduchu obvodovým pláštěm. Tato norma se nepoužívá ke stanovení stupně tepelné izolace a vzduchotěsnosti konstrukce. Pro taková stanovení se požadují jiné zkoušky. [10]

### 5.2 Norma ČSN EN 18434-1

Tato norma je českou verzí mezinárodní normy ISO 18434-1:2008.

Tato část normy ISO 18434 je návodem pro použití infračervené termografie (IČT), jako součásti programu pro monitorování stavu strojů a jejich diagnostiku. IČT lze použít pro vyhledávání a dokumentaci odchylek od normálního stavu za účelem monitorování stavu strojů. Tyto odchylky jsou obvykle způsobeny takovými mechanizmy, jakými je např. provoz, nedostatečné či nevhodné mazání, nevyváženost, vadné prvky a součástky nebo abnormálně velké mechanické zatížení. [11]

## 6 Konstrukce inftrakamery

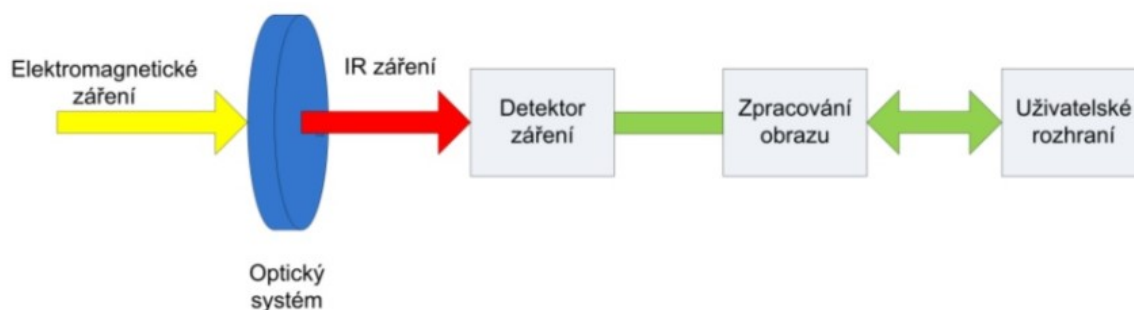
Konstrukce inftrakamery se moc neliší od dnešní konstrukce fotoaparátu či kamery. Skládá se ze tří částí, a to objektiv, detektor a z elektroniky pro zpracování obrazu. Přes objektiv dopadá na tzv. detektor tepelné záření, které měříme jako intenzitu tepla. Tato hodnota je následně digitalizována a převedena na výsledný snímek, který se nazývá termogram. Pokud je měřeno správně a za správných podmínek ponese termogram výsledné informace o rozložení teplot na měřeném objektu.



Obrázek 6 Konstrukce termokamery

Blokové schéma můžeme rozdělit na tyto tři hlavní části:

- Optika
- Detektor
- Elektronika pro zpracování a prezentaci obrazu



Obrázek 7 Blokové schéma Inftrakamery

## 6.1 Optika

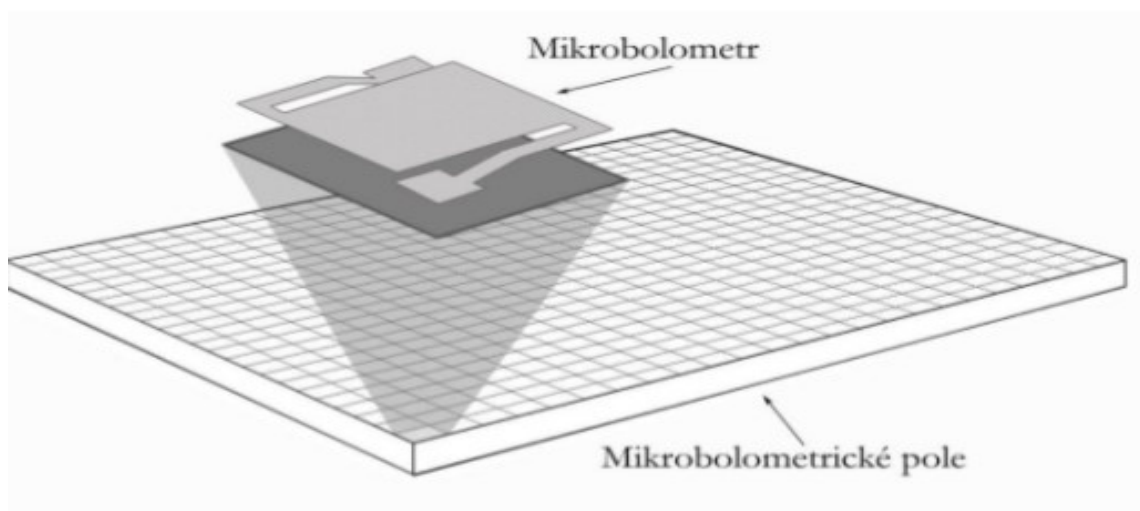
Optika Infrakamer se v dnešní době nejčastěji vyskytuje v podobě spojky vyrobené z Germánia bez možnosti optického zoomu. Na povrchu čočky je nanесena antireflexní vrstva, která má sloužit k zabránění odrazu infračerveného záření z povrchu čočky. Tímto způsobem se zvýší propustnost čočky až o 90% a více. Dále čočka funguje jako filtr, propouští jen vlnové spektrum daného záření.

## 6.2 Detektor

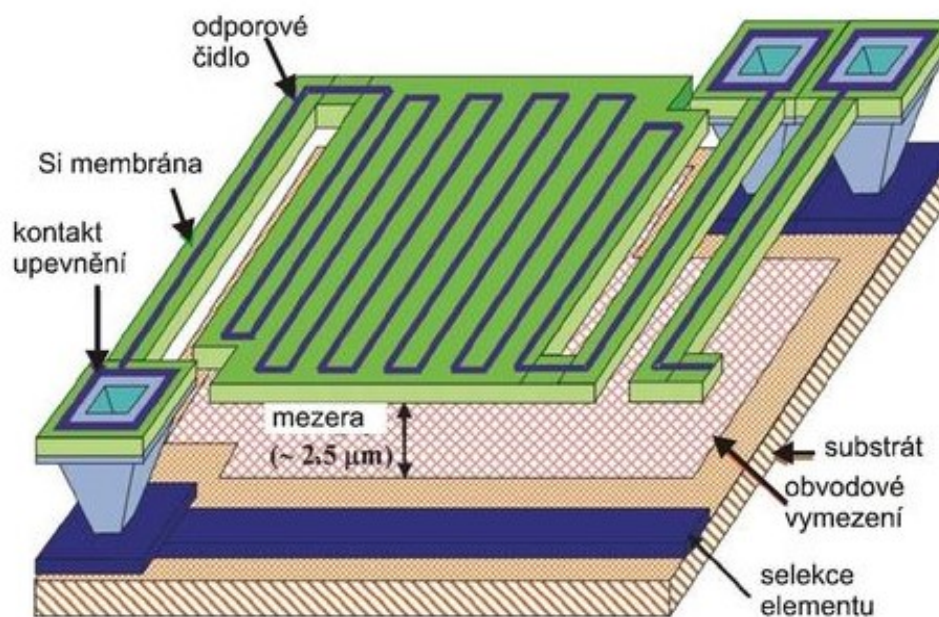
Detektory slouží k převedení dopadajícího záření na elektrický signál, který je poté převeden na výsledný termogram. V dnešní době rozlišujeme dva druhy detektoru, a to tepelný a fotonový.

### 6.2.1 Tepelný detektor

Funguje na principu změny elektrických vlastností v závislosti na intenzitě dopadajícího infračerveného záření. V dnešní době je nejpoužívanější mikrobolometr, který funguje tak, že mění svůj odpor v závislosti na dopadající intenzitě záření. Nejčastěji se používají tenkovrstvé mikroelektronické technologie na bázi odporových materiálů z kyslíčků  $\text{MgO}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{NiO}$ ,  $\text{Ti}_2\text{SeAs}_2\text{Te}_3$ . V infrakamerách je umístován v podobě 2D mikrobolometrického pole o délce hrany nejčastěji 1 až 2 cm a obsahují 320 x 240 až 640 x 480 elementů. Vyskytuje se u 95% Infrakamer.



Obrázek 8 Mikrobolometrické pole



Obrázek 9 Mikrobolometrický element matice

### 6.2.2 Fotonový (Kvantový) detektor

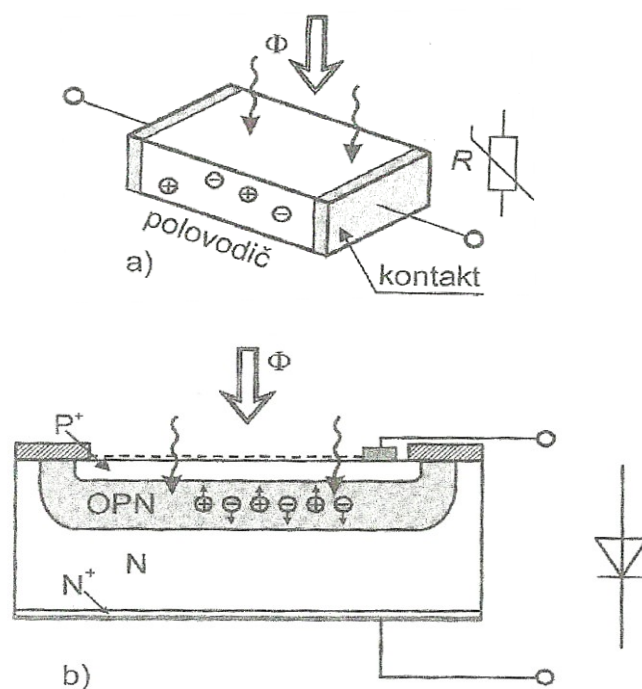
Pracuje na principu počítání fotonů nebo-li počítání kvant elektronového záření. Kdy při interakci dopadajících fotonů dochází ke vzniku páru elektron – díra. Při teplotě vyšší než absolutní nula a při splnění podmínky  $W_f \geq W_g$ , kde  $W_f$  je energie fotonů a  $W_g$  udává šířku zakázaného pásu polovodiče, dochází k uvolnění elektronu a jeho přechodu na vyšší elektronickou hladinu. Pro energii  $W_f$  absorbovaných protonu platí

$$W_f = \frac{h \cdot c}{\lambda \cdot e} (eV) \quad (14)$$

Kde  $e$  je náboj elektronu.

Elektron se dostane z valenčního pásu do vodivostního pásu v energetickém pásovém modelu polovodiče. Po uvolněním elektronu v daném místě zůstane prázdné místo, nazýváme jej díra. Ionizovaný elektron se chová jako elementární kladný náboj. Volný elektron se může v polovodiči volně pohybovat. Rovněž díra se může pohybovat a to tak, že ionizovaný atom převeze do elektronového obalu chybějící elektron ze sousedního neutrálního elektronu. Tento atom se ionizuje a stává se dírou. Tepelný pohyb elektronů a děr je plně náhodný. Kvantové detektory jsou polovodičové detektory, nejčastěji z Si, Ge, PbS, Te, InSe, GaAs. Tyto detektory jsou citlivější než tepelné detektory, ale jejich nevýhodou je, že vyžadují chlazení. Kamera je tím pádem těžší, než kamera s tepelným detektorem. [14]





Obrázek 10 Kvantový detektor (a – fotorezistor, b – fotodiodový detektor)

Dalším důležitým rozdílem mezi tepelným a fotonovým detektorem je spektrální citlivost. Zatímco tepelné detektory jsou širokopásmové, fotonové detektory jsou úzkopásmové a jsou schopny detekovat záření jen v úzkém rozsahu vlnových délek. Další porovnání rozdílů a vlastností jsou uvedené v tabulce níže:

tab.1 Srovnání vlastností detektorů 1

| vlastnost            | fotonový detektor                 | tepelný detektor           |
|----------------------|-----------------------------------|----------------------------|
| spektrální citlivost | omezená                           | široká                     |
| citlivost            | vysoká                            | nízká                      |
| časová konstanta     | velmi krátká (cca $\mu\text{s}$ ) | střední (cca $\text{ms}$ ) |
| nejčastější typ      | PtSi a InSb, QWIP                 | mikrobolometr              |
| pracovní teplota     | nízká (nutné chlazení)            | pokožová (lze chladit)     |
| cena                 | vysoká                            | nízká                      |

### **6.3 Elektronika pro zpracování obrazu**

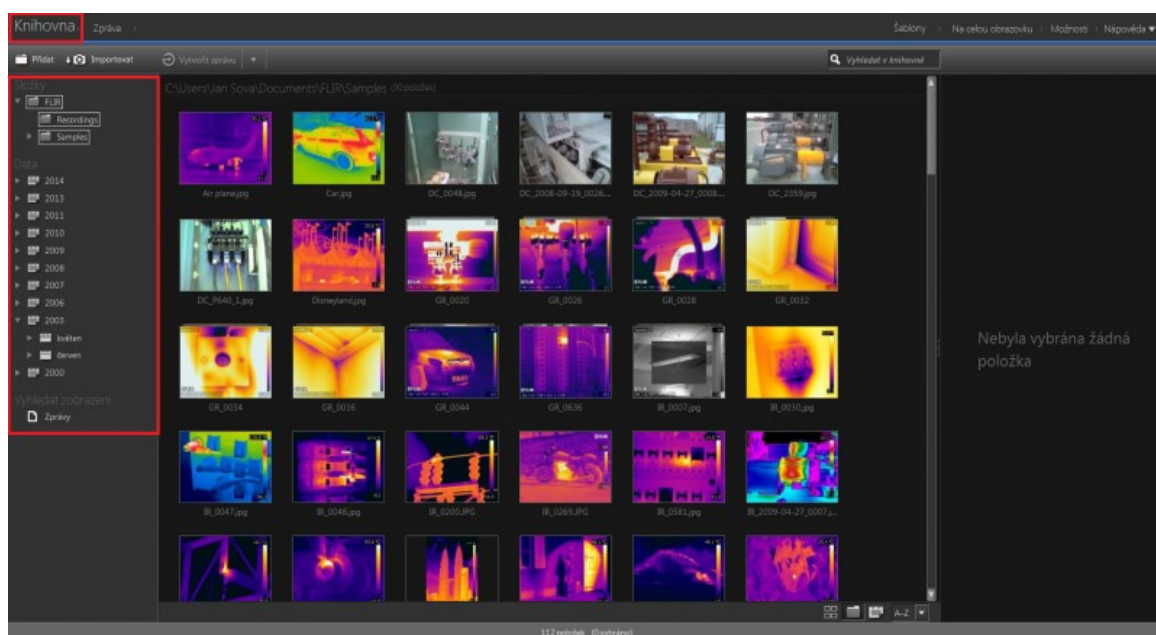
Bez dalších obvodů a složitých algoritmů v rámci výkonného mikroprocesoru, který zajišťuje zpracování vzniklého signálu, korekci snímku, jas a ostrost snímku, autokalibrace kamery apod., výsledné měření by nebylo použitelné.

## 7 Software pro zpracování termogramů

Software využíváme převážně k práci s termogramy, a to k editaci, úpravě a analýze snímku, k exportu snímku do počítače a dat (např. Excel), vytváření krátkých zpráv a protokolů (PDF, Word), aktualizaci firmwaru Termokamer. Níže je popisován program Flir Tools. Software je zdarma ke stažení a celý je přeložen do češtiny. Dále je k dispozici za příplatek software Flir Tools+, který má ve své nabídce více funkcí, jak s termogramy pracovat.

### 7.1 Po spuštění

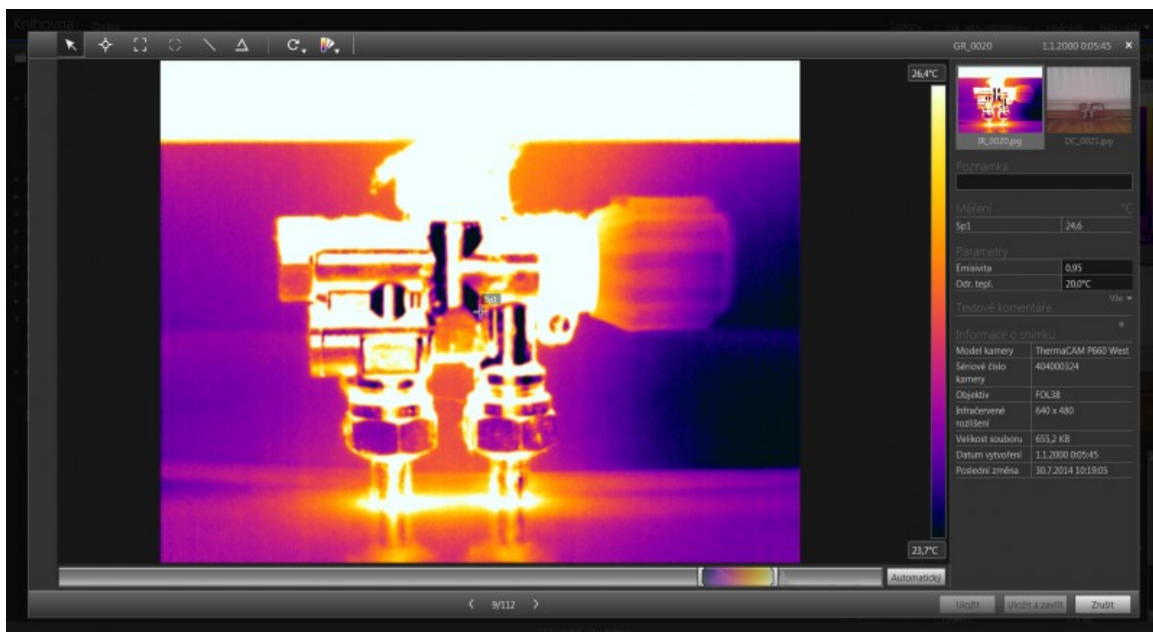
Hlavní pracovní plocha programu Flir Tools, nabízí rychlý přehled pořízených snímků, hledání starších zpráv a snímků v knihovně.



Obrázek 11 Hlavní pracovní plocha programu Flir

### 7.2 Práce s termogramy

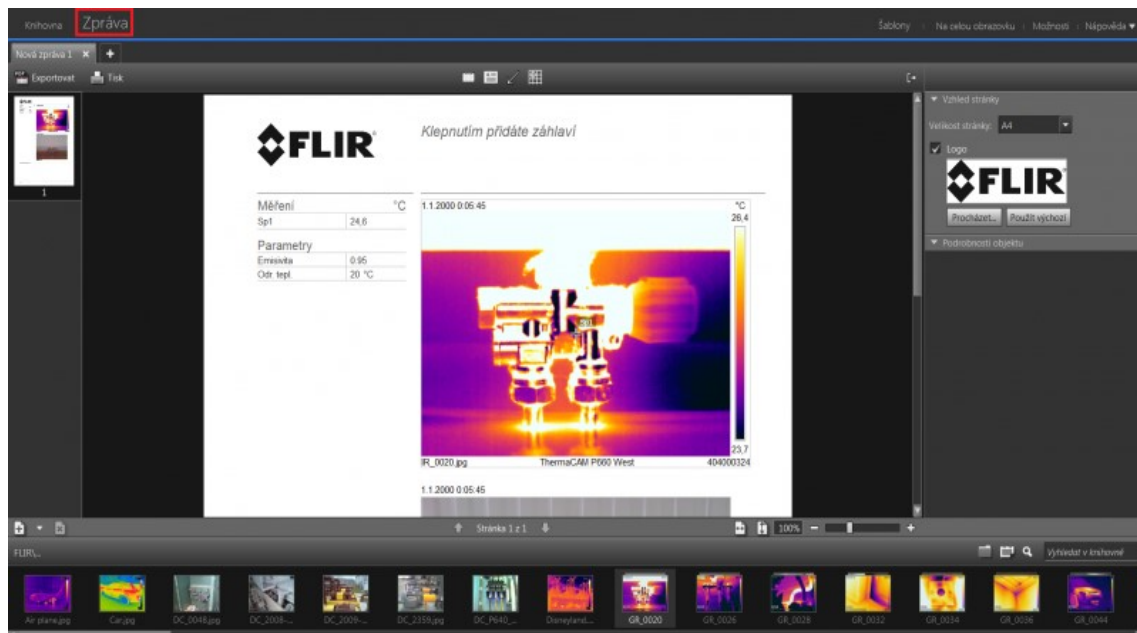
Pro práci s daným termogramem slouží režim editace. V režimu editací je možno se snímkem pracovat. Lze zobrazit základní informace (datum a čas pořízení snímku), editovat všech pět parametrů měření (emisivita, zdánlivé odražené teplo, vlhkost a teplota atmosféry a vzdálenost), číst a přehrávat vlastní poznámky pořízené při měření, přidávat měřicí body, oblasti maxima a minima, změnit rozsah a zobrazení reálné fotografie daného objektu.



Obrázek 12 Režim editace

### 7.3 Tvorba jednoduchých protokolů

Po opravě snímků v režimu editace, v levém horním rohu hned vedle záložky „Knihovna“ se klikne na záložku „Zpráva“, která slouží k tvorbě jednoduchých zpráv (protokolů) ve formě PDF. Zde je možné formátovat stránky a jejich uspořádání, vkládat snímky, připsat poznámky. Jednotlivé stránky se přidávají symbolem plus v levém dolním rohu.



Obrázek 13 Tvorba jednoduchého protokolu

## 8 Ovládání Termokamery Flir E45

Termokamera Flir E45 se ovládá čtyřmi tlačítky a sadou šipek, které umožňují nastavení a měření termokamerou.



Obrázek 14 Ovládací prvky termokamery

**PWR/ON** – slouží k zapnutí a vypnutí termokamery a také k vracení se zpět v hlavním nastavení kamery.

**MENU/YES** – pomocí něho se dostaneme do hlavní nabídky menu a můžeme si nastavit termokameru, také s ním potvrzuje jednotlivá nastavení a funkce.

**SEL** – slouží k možnosti rychlého přístupu k změně emisivity při měření, nebo posunu terčíku při bodovém měření.

**SAVE/FRZ** – slouží k ukládání fotek a také k zamrznutí snímaného obrazu.



## 8.1 Rozložení obrazovky



Obrázek 15 Rozložení obrazovky

Obrazovka je rozložena tak, že při měření se ve spodní části ukazuje informativně datum, čas a nastavená emisivita. Na pravém kraji displeje se nám ukazuje stupnice zdánlivé teploty a v pravém horním rohu se ukazuje maximální teplota nebo teplota měřená ve zvoleném bodě.

## 8.2 Hlavní menu

Hlavní menu slouží k nastavení základních parametrů termokamery, k náhledům snímků, a k informacím o termokameře.



Obrázek 16 Hlavní menu

**Režim měření** – V režimu měření si můžeme nastavit měření v bodě, průměrnou teplotu a maximální a minimální plochu.

**Ruční nastavení** – zde přepneme do režimu, ve kterém si můžeme nastavit při měření stupnici zdánlivých teplot ručně.

**Emisivita** – zde se nastavuje hodnota Emisivity, při které hodláme měřit.

**Paleta** – slouží k nastavení barevného zobrazení měřených teplot, například v barvách duhy, železo nebo v odstínech šedé.

**Rozsah** – nastavení tepelného rozsahu při měření.

**Skrýt grafiku** – skryje na hlavním displeji při měření všechny informace, například nastavenou emisivitu, stupnici zdánlivých teplot, a danou teplotu.

**Soubor** – zde můžeme spravovat obrázky, je k dispozici náhled obrázku, možnost mazání.

**Nastavení** – zde si můžeme nastavit termokameru, datum, čas, lokalizaci a najdeme zde informace o termokameře a nastavení od výrobce.

## 9 Obsah zprávy z měření

Mimo schopnost správně používat termální zobrazovač, spadá do práce technika i analýza, podání zprávy a dokumentace k měřenému zařízení. Po správném vyhodnocení naměřených dat může být požadována jasná a srozumitelná komunikace formou psané zprávy měření. Část tohoto procesu může vyžadovat seznámení zákazníka se schopnostmi a omezeními tepelné zobrazovací technologie a jejím významu. Nakonec zpráva často obsahuje předepsané akce k napravení všech problémů odhalených při tepelné kontrole. Technik také obvykle poskytuje dodatečné informace obsahující místo problému, diagnózu a doporučené kroky k odstranění problému. Technik poskytuje klíčové informace z tepelné kontroly, které musejí být spojeny s dodatečnými údaji z jiných měření nebo testů, plánováním údržby a oprav a analýzou nákladů, než se může dojít ke konečným závěrům. Proto jsou spolu s technickými dovednostmi potřeba i dovednosti komunikační.[15] Zpráva by měla obsahovat:

- Název zprávy – používají se normované názvy (např. zpráva z termografického měření).
- Zadání/cíl měření.
- Jméno a informace technika, který měření provedl – zde se uvede jméno, kvalifikace a certifikát měřícího technika.
- Lokalitu a datum měření – můžeme doplnit informace o počasí, vlhkosti, teplotě.
- Seznam použitých přístrojů a pomůcek – uvedeme zde všechny přístroje použité při měření i s platnou kalibrací.
- Popis měření.
- Postup při vyhodnocování měření.
- Vyhodnocení naměřených hodnot.
- Závěr.

### 9.1 Tvorba závěrečné zprávy

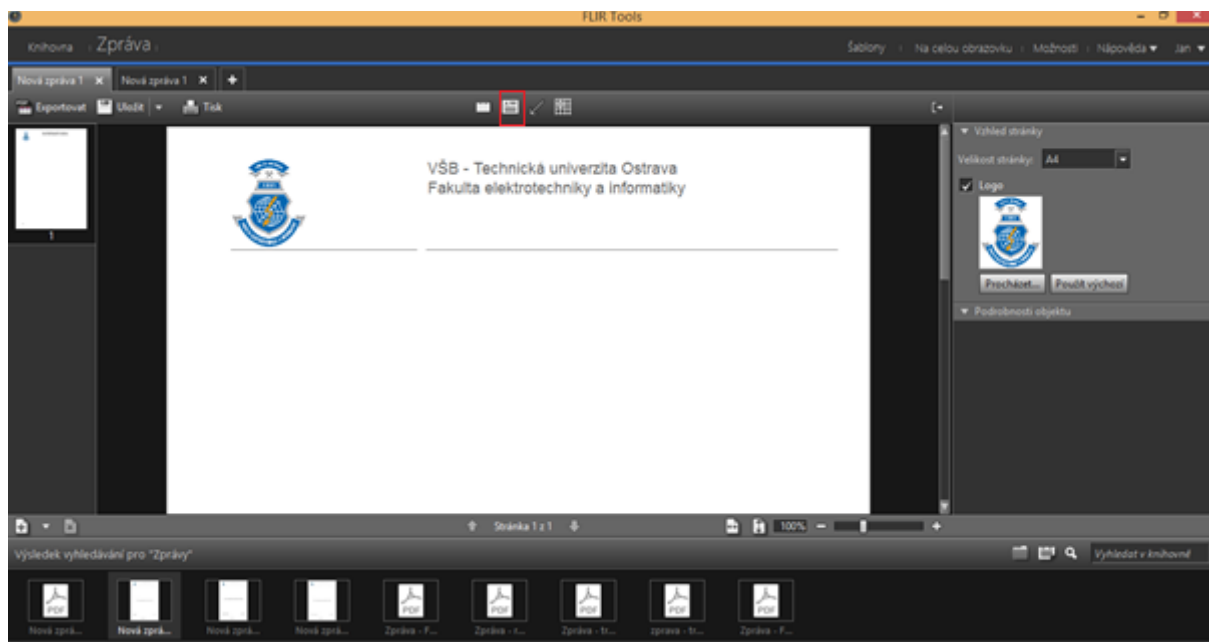
Při tvorbě závěrečných zpráv byl použit program FLIR Tools. První krokem bylo připojení termokamery k PC a export obrázku do programu. A poté samotná práce v programu FLIR Tools.



Obrázek 17 Naformátování dokumentu

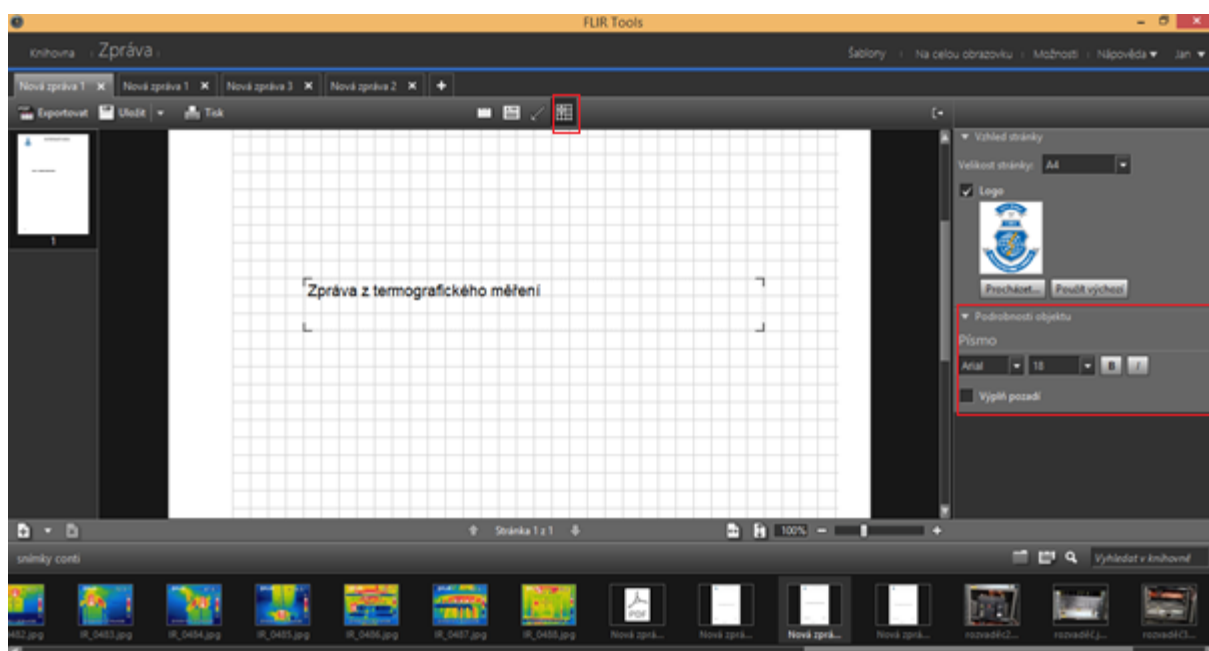


Pro tvorbu zprávy v programu FLIR Tools se musí nejprve rozkliknout záložka „Zpráva“. Po objevení textového dokumentu, který je nutné nastavit podle požadovaných požadavků, se musí na pravé straně tohoto dokumentu změnit logo, které má být v záhlaví této zprávy. Poté se záhlaví vyplní.



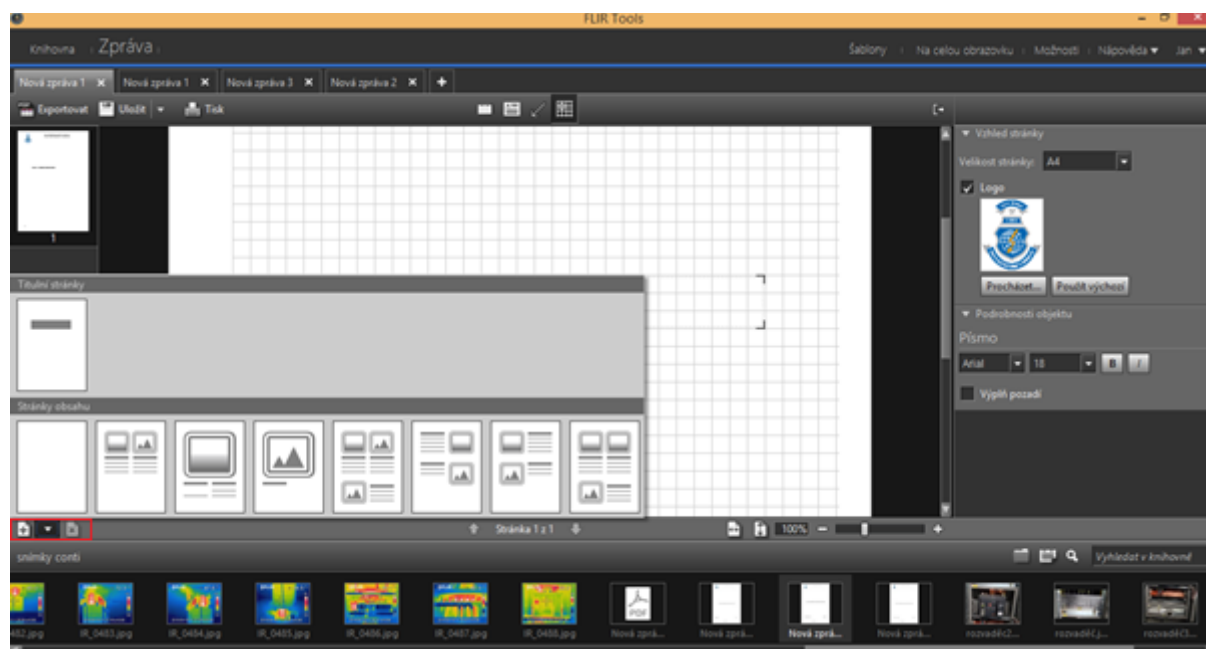
Obrázek 18 Naformátovaný dokument zprávy

Protože FLIR Tools nepodporuje tvorbu textového dokumentu, je nutné jej tvořit pomocí textového pole. Jako každý protokol z měření i tento začíná vytvořením titulní strany.



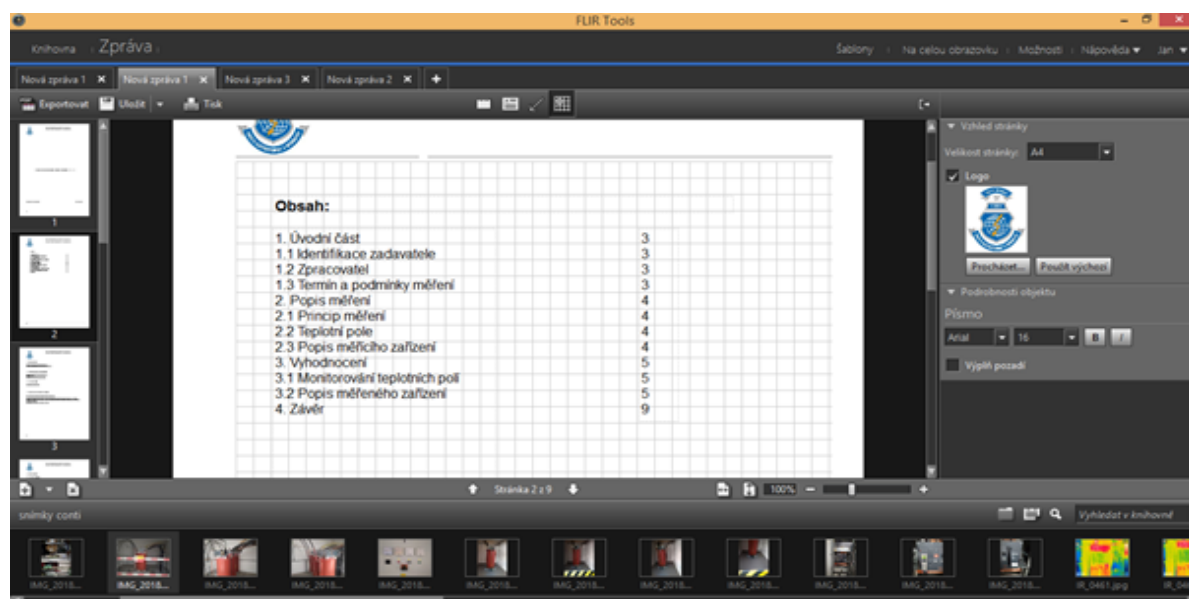
Obrázek 19 Tvorba titulní strany

Pro lepší umístění textového pole je třeba rozkliknout možnost „Přichycení objektu k mřížce“, což v dokumentu zobrazí mřížku, díky které se dobře rozmístí jednotlivá textová pole. Při psaní do textového pole, se na pravé straně obrazovky, pod možností změny loga, objeví formátování psaného textu.



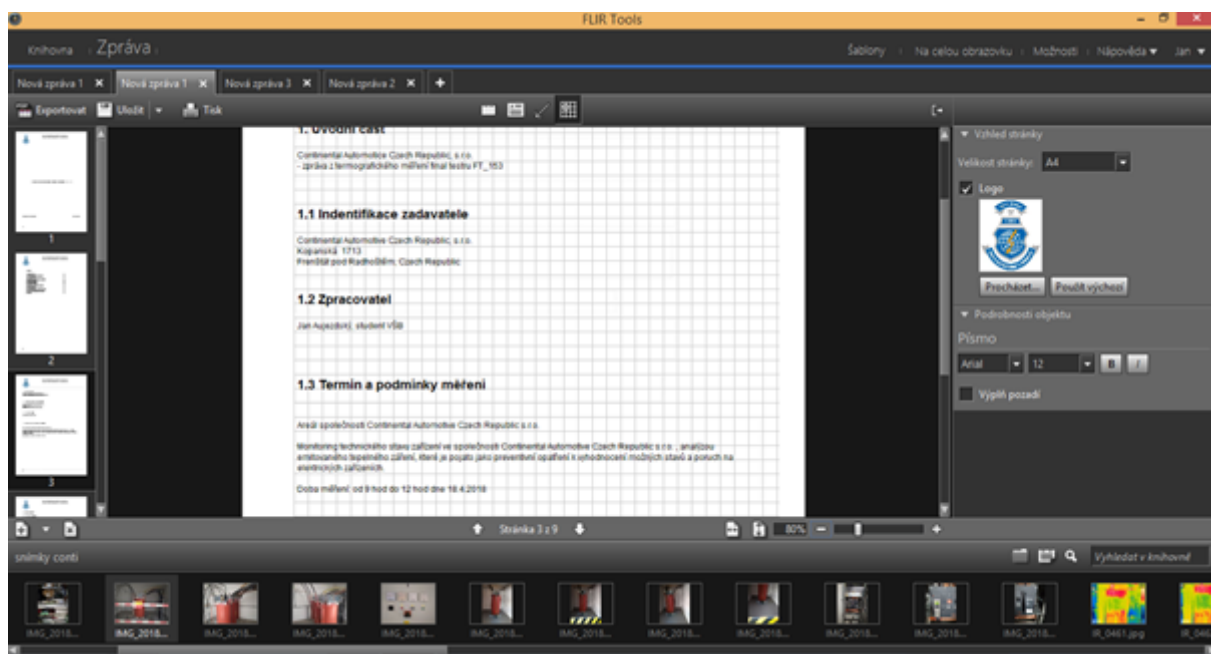
Obrázek 20 Přidání další stránky zprávy

Poté, co se vytvoří a dopíše titulní strana zprávy, je třeba v levém dolním rohu rozkliknout nabídku „Přidání nové stránky“. Po vybrání typu rozložení stránky, je možno vytvořit obsah této zprávy.



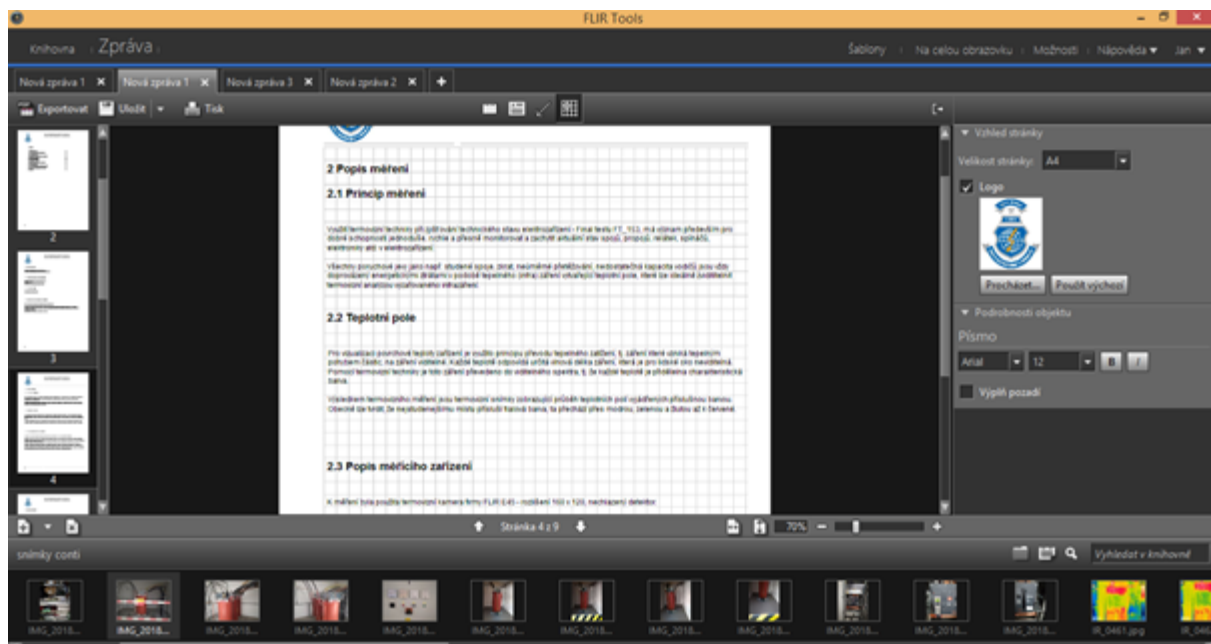
Obrázek 21 Vytvoření obsahu

Tento obsah je vytvořen pomocí několika textových polí. Zpráva je rozložena na čtyři základní kapitoly, a to úvodní část, popis měření, vyhodnocení a závěr.



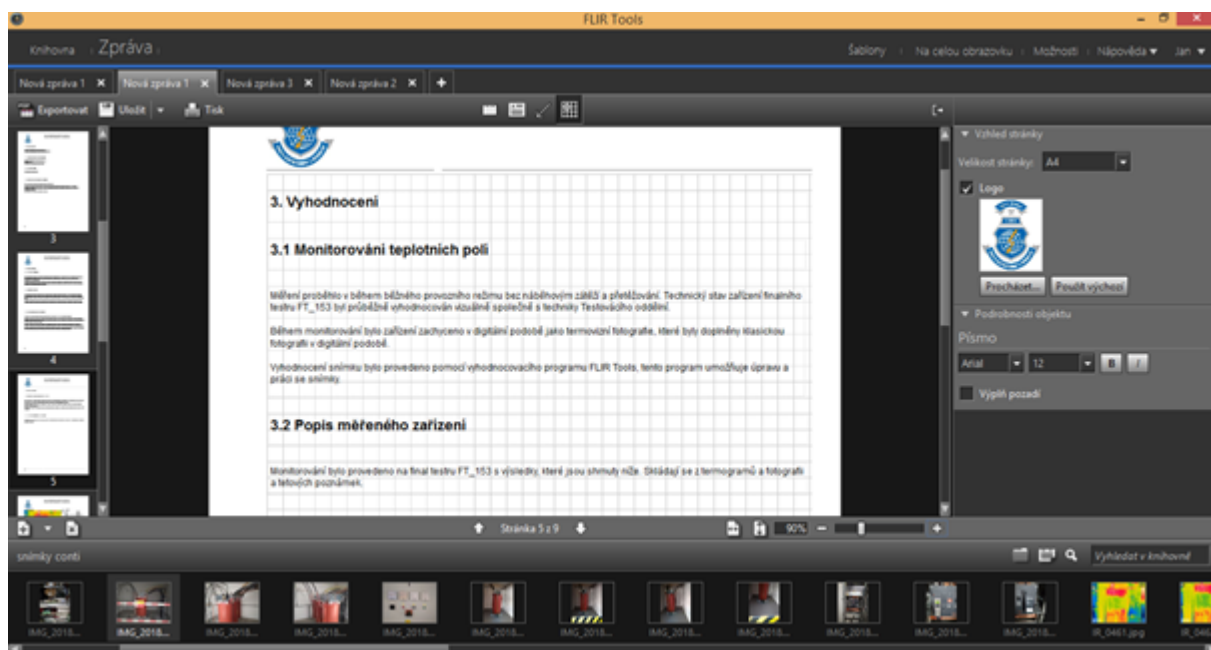
Obrázek 22 Úvodní část

V úvodní části zprávy je uvedeno místo, kde bylo měření provedeno, kompletní adresa dané firmy, a jméno autora měření. Dále je uveden termín, podmínky, čas, datum a účel měření.



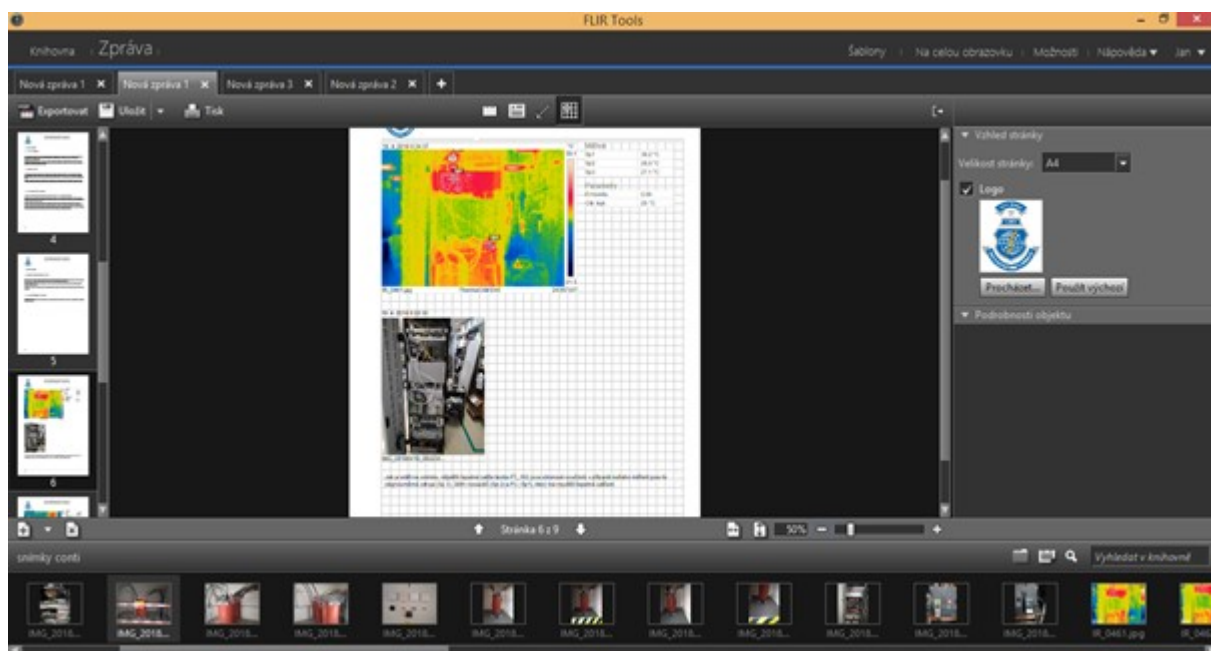
Obrázek 23 Popis měření

V druhé kapitole zprávy „Popis měření“ je popsán princip měření termokamerou včetně popisu zařízení, se kterým bylo toto měření prováděno.



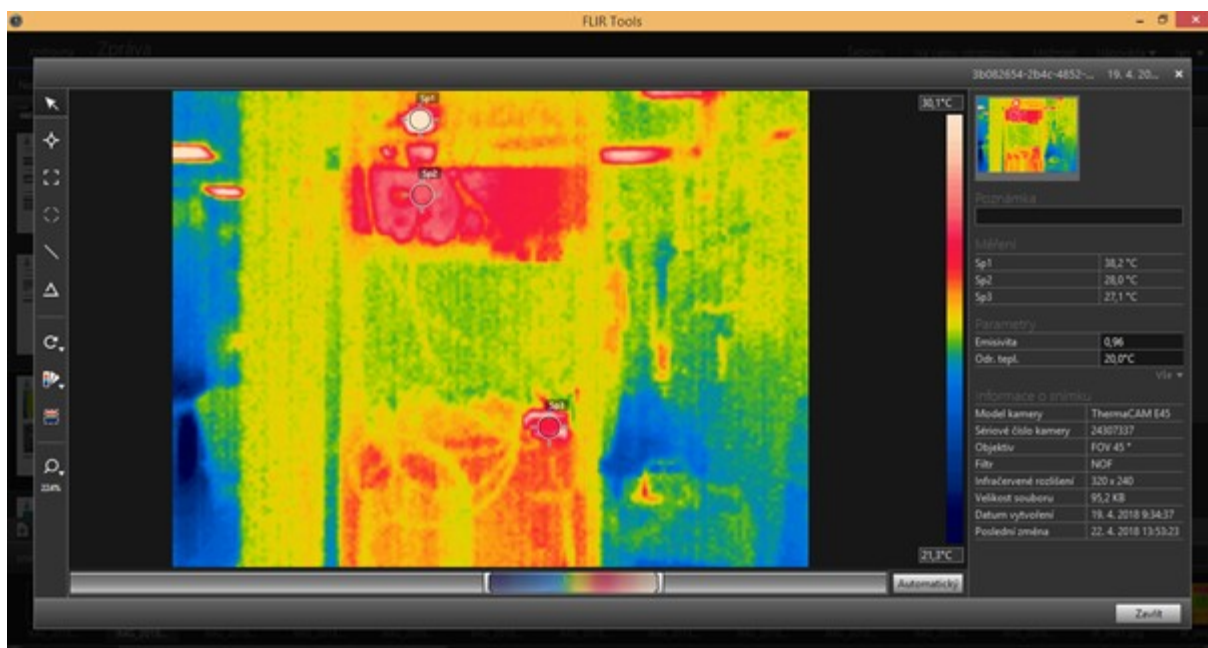
Obrázek 24 Vyhodnocení

V kapitole „Vyhodnocení“ je popsán průběh měření. Způsob jeho zpracování, a program, ve kterém je vypracován. Dále je popsáno zařízení, které je měřeno.



Obrázek 25 Vyhodnocování termografů

V kapitole „Vyhodnocení“ jsou také vyhodnoceny jednotlivé pořízené termogramy. Pro nahrání jednotlivých zachycených snímků, stačí najít si ony snímky ve spodní nabídce textového editoru zprávy, a poté přetáhnout na stránku tvořené zprávy. Naměřené hodnoty program vypíše sám. Pro potřebu úpravy termogramu, stačí dvakrát kliknout na daný termogram, a tím se otevře nabídka úpravy. Po vyhodnocení termogramu je možné nechat pod každým snímkem měřeného zařízení menší poznámku k tomuto termogramu.



Obrázek 26 Nabídka pro úpravu termogramů

Zde se jednotlivé snímky upraví. Lze upravit emisivitu, přidat bodové měření, upravit informace termokamery, a také lze na snímku vymezit určitou oblast, která v dané oblasti informuje o maximální, minimální a průměrné teplotě. Po úpravě snímku, stačí okno pouze zavřít.



Obrázek 27 Závěr

Poslední kapitolou ve zprávě je „Závěr“. Zde je uvedeno, zda zařízení vyhovuje technickým požadavkům, dále poznámky a připomínky pro elektroúdržbu.

Vypracované vzorové zprávy z měření jsou tvořeny přílohou na CD, jež je součástí bakalářské práce.

## 10 Závěr

V této práci je popsána infračervená termografie a její užití při diagnostice elektrických zařízení. Jsou zde uvedeny jak základní informace, které seznamují s infračervenou termografií a přenosy tepla, tak zákony spektra, tepelného záření a jejich vlastnosti. Dále jsou v této práci uvedeny základní chyby při měření, emisivita a zdánlivě odražená teplota. Uvedeny jsou dvě základní normy týkající se diagnostiky pomocí tepelného obrazu. Popsaná je zde konstrukce použité termokamery, její ovládání a software. Rozvinutá je také tvorba a obsah termovizní zprávy z měření, popsán je celý postup tvorby této zprávy, práce s termogramy a jejich vyhodnocení. Při tvorbě zpráv z termografického měření jsem zjistil, že infračervená termografie není jen o znalosti a užívání termokamery, ale také o schopnosti porozumět termogramům a správně vyhodnotit daný problém. Termografie je v dnešní době užitečná věda, díky které dokážeme předcházet závadám a poruchám. A to při běžném provozu zařízení, bez nutnosti odstávky. Tímto šetří peníze a čas technikům při hledání závady.

## Literatura

- [1] *TEPELNÝ OBĚH: Sdílení tepla* [online]. [cit. 2018-04-23]. Dostupné z: [http://www.sps-ko.cz/documents/MEC\\_kratochvil/TERMOMECHANIKA\\_INTERNET\\_DOC/16\\_Sdileni\\_tepla.pdf](http://www.sps-ko.cz/documents/MEC_kratochvil/TERMOMECHANIKA_INTERNET_DOC/16_Sdileni_tepla.pdf)
- [2] [online]. Dostupné z: <http://fyzikalniolympiada.cz/texty/texttz.pdf> [online]. [cit. 2018-04-23].
- [3] *Tepelné záření, záření černého tělesa* [online]. [cit. 2018-04-23]. Dostupné z: <http://www.fyzika007.cz/optika/tepelne-zareni-zareni-cerneho-telesa><http://ottp.fme.vutbr.cz/~pavelek/optika/0202.htm>
- [4] *WIENŮV POSUNOVACÍ ZÁKON* [online]. [cit. 2018-04-23]. Dostupné z: <http://ottp.fme.vutbr.cz/~pavelek/optika/0203.htm>
- [5] *Chyby a omyly při měření* [online]. [cit. 2018-04-23]. Dostupné z: <http://www.termokamera.cz/princip-a-funkce/chyby-a-omyly-pri-mereni-termokamerou/>
- [6] *Průvodce termografií* [online]. [cit. 2018-04-23]. Dostupné z: <http://termokamera.com/prirucka-termografie/>
- [7] *Úvod do práce s termokamerou Flir i7* [online]. [cit. 2018-04-23]. Dostupné z: [http://dk.spsopava.cz:8080/docs/pdf/stavebni\\_laborator/termokamera/Prace\\_s\\_termokamerou.pdf](http://dk.spsopava.cz:8080/docs/pdf/stavebni_laborator/termokamera/Prace_s_termokamerou.pdf)
- [8] *EMISIVITA – potíž přesného radiometrického měření* [online]. [cit. 2018-04-23]. Dostupné z: <http://www.blue-panther.cz/emisivita>
- [9] *Termokamery a pyrometry - princip měření, vlastnosti a využití* [online]. [cit. 2018-04-23]. Dostupné z: [http://www.allforpower.cz/UserFiles/file/termokamery\\_1.pdf](http://www.allforpower.cz/UserFiles/file/termokamery_1.pdf)
- [10] *ČSN EN 13187: Tepelné chování budov - Kvalitativní určení tepelných nepravidelností v pláštích budov - Infračervená metoda* [online]. [cit. 2018-04-23]. Dostupné z: [http://csnonlinefirmy.unmz.cz/html\\_nahledy/73/57465/57465\\_nahled.htm](http://csnonlinefirmy.unmz.cz/html_nahledy/73/57465/57465_nahled.htm)
- [11] *ČSN ISO 18434-1* [online]. [cit. 2018-04-23]. Dostupné z: <http://eshop.normservis.com/detail/csniso/18434-1/1.7.2009>
- [12] *Konstrukce termokamery* [online]. [cit. 2018-04-23]. Dostupné z: <http://www.termokamera.cz/princip-a-funkce/konstrukce-termokamery/>
- [13] KREIDL, Marcel a Radislav ŠMÍD. *Technická diagnostika*. Praha: BEN - technická literatura, 2006. ISBN 80-7300-158-6.
- [14] KREIDL, Marcel. *Měření teploty - senzory a měřící obvody*. Praha: BEN - technická literatura, 2005. ISBN 80-7300-145-4.
- [15] BAYER, Robert. *Úvod do principů termografie* [online]. FLUKE® [cit. 2018-04-25].
- [16] *Požadavkový list na uchazeče Technik Diagnostik Termografie* [online]. [cit. 2018-04-29].



## **Přílohy**

Přílohy jsou obsahem přiloženého CD:

Vypracované termografické zprávy z měření.

- I. Zpráva – FT\_153
- II. Zpráva – Rozvaděč
- III. Zpráva – Transformátor